

補助事業番号 2020M-208

補助事業名 2020年度 熱交換器への超撥水性膜合成による革新的高効率伝熱性能向上  
補助事業

補助事業者名 佐賀大学 理工学部 電気電子工学部門 教授 大津康徳

## 1 研究の概要

本研究では、ネオ放電モード型スパッタ装置を構築し、マグネトロンスパッタプラズマを生成し、金属板への超撥水性膜合成を実施した。金属板表面にスパッタ成膜を行うことにより、その表面を超撥水性に近い状態を達成できた。また、基板バイアス装置を構築することにより、超撥水性膜と金属板との密着性を改善できる条件を見出した。更に、超撥水性膜の伝熱促進の剥離耐性試験により、剥離がほとんど見られないことを実証した。超撥水性膜の伝熱性能向上の評価試験により、非成膜に比べて優位な伝熱性能が得られ、超撥水性膜を用いることにより、熱交換器の革新的高効率伝熱性能向上が期待できることがわかった。

## 2 研究の目的と背景

工場等で使用している熱の約65%以上は未利用であり、特に、工場からの廃熱温度は100～150℃が多くを占めている。今後、エネルギー利用の高効率化に伴い、益々100℃以下の低温度廃熱(温水顕熱としての廃熱、以下“低エンタルピー熱”)は増加することが予想される。このエクセルギーを十分に活用するためには、多段の熱利用発電システムが有効であり、このシステムの不可避な共通課題は、高い伝熱性能だけでなく、低い圧力損失である革新的な熱交換器の開発である。この伝熱技術の確立により産業界の革新的な熱利用の確立に繋がる。

本研究の目的は、低エンタルピー熱を高効率に利用するために、これまで開発したネオ放電モード型スパッタにより、熱交換器のプレート表面に超撥水性膜を合成する技術を確立し、超撥水性膜による作動流体の蒸発及び凝縮の伝熱促進効果を明らかにし、低エンタルピー熱と熱機関の伝熱時の性能を飛躍的に向上させることである。この取り組みは撥水付与技術を発電分野に活かした分野横断型の技術開発であり、この技術の確立により、未利用であった低品位の熱源を有効に利用可能なエネルギー源として活用できるように仕上げていくことを目的とする。

## 3 研究内容

### (1) ネオ放電モード型スパッタ装置の構築と金属板への超撥水性膜合成に関する研究

超撥水性薄膜を合成するために、ネオ放電モード型スパッタ装置を構築した(図1(a))。各部品の接続が終了後、油回転真空ポンプとターボ分子ポンプを組み合わせ、スパッタ装置を真空引きし、真空度試験を行った。その結果、 $10^{-5}$ Pa台の高真空を達成できることが分かった。この真空度は、既存のスパッタ装置に比べて1桁程度低い圧力を達成できており、不純物の少ない高真空装置を実現していることがわかった。その後、装置上部にあるスパッタ源に高周波電源を接続した。材料ターゲットには、直径4インチ、厚み10mmのPTFE円板を設置した。アルゴンガス圧力1Pa、

高周波電力200W をスパッタ源に供給することにより、安定放電を確認した(図1(b))。また、金属板表面に、ネオ放電モード型スパッタ装置を用いてフッ素系樹脂の薄膜を成膜した結果、超撥水性膜を実現させることができた(図2)。



図1(a) ネオ放電モード型スパッタ装置



図1(b) スパッタ放電プラズマの発光の様子



図2 超撥水性膜上の水滴の様子

## (2) 超撥水性膜の作動流体による伝熱性能と超撥水性膜合成技術の改善に関する研究

### ① 超撥水性膜の作動流体による伝熱性能に関する研究

超撥水性膜の伝熱促進剥離耐性試験を行った結果、成膜プレートでは約90日まで撥水性の水滴接触角を維持できており、皮膜が剥がれた兆候は見られておらず、撥水性が保たれていた。

超撥水性膜の伝熱性能評価試験条件においては、膜状凝縮現象でも、成膜プレートでは優位に伝熱性能が向上したことが推測された。成膜プレートは非成膜に比べて、優位に伝熱性能が向上していた。

### ② 超撥水性膜合成技術の改善に関する研究

イオンアシスト効果を用いた超撥水性膜密着性を改善するために、基板バイアス装置を構築した。この装置を用いて、基板バイアス装置電力を5Wと一定として、マグネトロンスパッタ電力を50から120Wまで変化させて、水滴接触角とマグネトロンスパッタ電力との関係を調査した。アルゴンガス圧力1Pa、スパッタ時間5min、ターゲット基板間距離50mmと一定とした。マグネトロンスパッタ電力50Wでは、水滴接触角は120°程度であるが、PMGを増加していくと、80Wで140°以上に達し、その後電力を変化させてもほぼ一定である。イオンアシスト効果を利用して密着性を改善し、かつ、超撥水性膜を実現するためには、基板バイアス装置電力5W程度で、マグネトロンスパッタ電力80W以上であればよいことがわかった。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

従来のフッ素系樹脂を用いたスパッタ薄膜では、水滴接触角が $120^\circ$ 程度の撥水性しか示さなかった。本研究で開発したネオ放電モード型スパッタ装置を用いることにより、容易に超撥水性膜を合成させることに成功した。熱交換器の表面へコーティングする以外に、例えば、船舶などのボディに超撥水性を用いることにより、燃費向上を期待できる。更に、豪雪地帯の通信機器などに超撥水性膜をコーティングすることにより、積雪抑制を実現させることができ、マイクロ波帯の通信障害を防ぐことができる。従って、本技術は、様々な基材に対して適応可能であり、カーボンニュートラルの実現に深く貢献できる技術である。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は、プラズマの物性評価や高効率プラズマ源の開発に関する研究に従事してきた。近年、開発したプラズマ源を用いた撥水性や透明導電性などの機能性薄膜合成に従事している。しかしながら、スパッタ法により、超撥水性膜を合成することができなかった。

今回の研究において、新たに考案したネオ放電モード型スパッタ装置を開発することにより、金属板表面へ、従来実現できなかった超撥水性膜を合成させることに成功した。今後は、本技術を金属板以外のプラスチックなどの基材への適応を試み、カーボンニュートラルを実現できる機器へ展開したい。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 井野雄太、大津康徳、安永健、池上康之「アンバランスマグネトロンスパッタ装置の構築とポリカーボネート板へのPTFE撥水性薄膜合成」第81回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、8a-Z04-15(2020.9)
2. 井野雄太、大津康徳、安永健、池上康之、田原竜夫、藤尾佑輝「アンバランスマグネトロンスパッタによるポリカーボネート板へのPTFE撥水性薄膜合成及び評価」プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部第24回支部大会研究発表論文集、20aA03(2020.12)
3. 安田洸也、大津康徳「ターゲット有効利用のための磁石回転型マグネトロンスパッタ装置の開発」第82回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集、10p-S301-8(2021.9)
4. Yasunori Ohtsu, Yuta Ino, Yuki Fujio, Tatsuo Tabaru, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami” Preparation of Water-Repellent Film on a Plastic Plate by Unbalanced Radio-Frequency Magnetron Plasma Sputtering Using PTFE Target for a Next-Generation Automobile Window” Plasma Chem. Plasma Process. (2021), Vol.41, pp.631–1646.
5. Yasunori Ohtsu, Godai Sakata, Julian Schulze, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, ” Spatial profile of Al-ZnO thin film on polycarbonate deposited by ring-shaped magnetized rf plasma sputtering with two facing cylindrical  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - ZnO targets” Jpn. J. Appl. Phys., (2022) Online published.

6. 中山雅士, 安永健, 森崎敬史, 佐々木究, 大津康徳, 池上康之, ”透明樹脂プレート式熱交換器内部の可視化と画像処理を用いたボイド率測定方法の検討” OTEC, (2022), Vol.26, pp.13-18.

## 7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの (<http://www.ee.saga-u.ac.jp/plasma/project.html>)

研究成果をまとめ下記の研究概要 (図3)を作成した。



図3 本事業の研究概要

(2)(1)以外で当事業において作成したもの  
該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 佐賀大学 (サガダイガク)

住所: 〒840-8502

佐賀県佐賀市本庄町1

担当者: 教授 大津康徳 (キョウジュ オオツヤスノリ)

担当部署: 理工学部 電気電子工学部門

(リコウガクブ デンキデンシコウガクブモン)

E-mail: [ohsuy@cc.saga-u.ac.jp](mailto:ohsuy@cc.saga-u.ac.jp)

URL: <http://www.ee.saga-u.ac.jp/plasma/index.html>